

и пространстве, и зависит от различных факторов, таких как состояние атмосферы, время суток, время года и геолого-географические характеристики региона исследования.

Также неоднократно было обнаружено, что периоды выпадения осадков сопровождаются аномальным увеличением (всплесками) радиационного  $\gamma$ -фона. Это явление объясняется процессами вымывания короткоживущих  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучающих продуктов распада радона и торона из атмосферы на различные поверхности (почва, различные покрытия). Это явление даже получило собственное название «radon washout».

С целью разработки метода определения интенсивности ливневых осадков в 2017 начиная с момента таяния снега и до начала установления снежного покрова измерения мощности дозы  $\gamma$ -излучения, плотности потока  $\gamma$ -излучения производили с высокой частотой дискретизации данных 1 минута, с использованием сцинтилляционного детектора БДКГ-03 (производства АТОМТЕХ, Республика Беларусь). Данные об интенсивности осадков с высоким временным разрешением регистрировались оптическим (лазерным) осадкомером ОПТИОС (разработка ИМКЭС СО РАН).

Результаты моделирования в среде Geant4 показали, что короткоживущие дочерние продукты распада радона  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  являются основными дозообразующими радионуклидами, по сравнению с остальными продуктами распада радона и торона, которые вымываются из атмосферы на земную поверхность в период выпадения осадков. Анализ как экспериментальных данных, так и теоретического материала из области ядерной физики и взаимодействия ионизирующих излучений с веществом, позволил определить, что величина всплеска мощности дозы  $\gamma$ -излучения пропорциональна активности выпавших на земную поверхность радионуклидов.

Экспериментально установлено, что выпадение осадков вызывает увеличение мощности дозы  $\gamma$ -излучения. При этом суммарное количество выпавших осадков определяет величину всплеска мощности дозы, а текущая интенсивность осадков – скорость нарастания мощности дозы  $\gamma$ -излучения. Разработана математическая модель, устанавливающая количественную связь между мощностью дозы  $\gamma$ -излучения и интенсивностью (количеством) жидких атмосферных осадков, произведена верификация модели.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА ГАММА-ФОНА НА ЖИДКИЕ АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

Г.А. Яковлев<sup>1</sup>, Zulu Mathias<sup>2</sup>, А.С. Зелинский<sup>2</sup>, А.А. Кобзев<sup>3</sup>, С.В. Смирнов<sup>3</sup>, В.С. Яковлева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,

<sup>3</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Россия, г. Томск

E-mail: [vsyakovleva@tpu.ru](mailto:vsyakovleva@tpu.ru)

Природа предоставила нам прекрасные трассеры-индикаторы для мониторинга изменений состояния окружающей среды и погоды, такие, как природные радионуклиды, их ионизирующее излучение. Общеизвестно, что источниками радиационного фона приземной атмосферы являются радионуклиды, содержащиеся в грунте, атмосферном воздухе, объектах техносферы, а также космическая радиация. Пространственно-временные вариации радиационного фона, активности радиоактивных газов и аэрозолей в приземной атмосфере, газов в поверхностном слое грунта, являются следствием различных процессов и явлений, происходящих в окружающей среде.

Попытки найти взаимосвязь между интенсивностью осадков и величиной всплесков мощности дозы  $\gamma$ -излучения были предприняты ранее, но значимой взаимосвязи обнаружено не было. Возможно, это связано с недостаточно высоким временным разрешением данных, или с тем, что вымывающая способность осадков зависит от их интенсивности. Была предложена «rainout-washout» модель, которая делит атмосферу на две части в облаке и под облаком, однако, она пока еще не получила экспериментального подтверждения. Тем более, что расчеты требуют знания множества недостаточно изученных входных параметров модели.

Для исследования отклика гамма-фона на жидкие атмосферные осадки были разработаны математические модели: а) динамики радона дочерних продуктов распада в атмосфере; б) динамики активности дочерних продуктов распада радона, осаждаемых на земную поверхность. С их помощью была определена степень влияния высоты слоя инверсии, высоты нижней кромки облаков, суточных вариаций плотности потока радона с поверхности грунта на осаждаемую активность  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ .

Также были произведены расчеты дозовых коэффициентов для  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  с помощью среды GEANT4 на разных высотах от земной поверхности для геометрии дискового источника радиусом 500 м, с учетом нижнего порога регистрации  $\gamma$ -излучения детекторами БДКГ-03 (которые были использованы в эксперименте), равного 50 кэВ. Был использован встроенный в GEANT4 стандартный набор физических процессов QGSP\_BIC\_HP с некоторой модификацией под задачу данного исследования, аналогично примеру «extended/radioactivedecay/rdecay02» из библиотеки GEANT4.

Моделирование отклика гамма-фона (мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения) во время выпадения жидких атмосферных осадков производили с использованием измеренных данных о плотности потока радона с поверхности грунта (разработка ТПУ), и измеренным челночным Davis Rain Collector II (Davis Instruments, США) и оптическим ОПТИОС (разработка ИМКЭС СО РАН) осадкомерами данным об интенсивности осадков. Сравнение измеренных и расчетных данных о гамма-фоне позволило выявить некоторые закономерности. Вышло получено, что коэффициент захвата аэрозолей каплями дождя сильно зависит от интенсивности осадков и размера капель, что является новым научным результатом.

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ, СБОРА, ОБРАБОТКИ, ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА**

Г.А. Яковлев<sup>1</sup>, Mac-Donald Prince<sup>2</sup>, И.В. Беляева<sup>3</sup>, С.В. Смирнов<sup>4</sup>, В.С. Яковлева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия, г. Томск

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30,

<sup>3</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, Россия, г. Томск

<sup>4</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Россия, г. Томск

E-mail: [vsyakovleva@tpu.ru](mailto:vsyakovleva@tpu.ru)

Контроль радиационной обстановки, производимый в научных целях, имеет тенденцию к увеличению одновременно регистрируемых радиационных величин. Одним из необходимых условий, в целях верификации полученных закономерностей, является требование использования методов измерения одной и той же величины, различающихся по физическому принципу. Все это требует большого количества измерительных приборов, комплексов, датчиков, для управления которыми в каждом